

궤도차량의 동적 궤도장력 조절시스템에 대한 실험적 연구

서문석* · 김재용* · 정순규* · 허건수† · 김일민** · 정정주*** · 최재모****

(2003년 1월 2일 접수, 2003년 5월 30일 심사완료)

Experimental Study on Dynamic Track Tensioning System in Tracked Vehicles

Munsuk Suh, Jaeyong Kim, Soonkyu Jeong, Kunsoo Huh, Ilmin Kim,
Chungchoo Chung and Jaemo Choi

Key Words : Tracked Vehicle(궤도차량), Tension Monitoring(장력추정), Tension Control(장력제어), DTTS(Dynamic Track Tensioning System, 동적 궤도장력 조절시스템)

Abstract

Maintaining track tension in tracked vehicles minimizes the excessive load on the tracks and prevents the peal-off of tracks from the road-wheel, and adequately guarantees the stable and improved driving of the tracked vehicles. However, the track tension cannot be easily measured due to the limitation in the sensor technology, harsh environment, etc. In this study, the track tension is estimated in real-time from the measurable signals of tracked vehicles and controlled based on a fuzzy logic controller. The proposed control system is implemented on tracked vehicles and its performance is evaluated under various driving conditions.

1. 서론

궤도차량은 스프로킷, 아이들러 그리고 로드휠을 감싸고 있는 궤도에 의해 움직이는 차량을 뜻한다. 궤도차량의 거동에 가장 큰 영향을 주는 인자로는 궤도의 특성을 들 수 있다. 궤도차량에서는 기동성을 향상시키기 위해서 로드휠 행정을 크게 하고 엔진 출력을 증가시키는데, 이로 인해 궤도의 처짐이 빈번히 발생하고 심할 경우 스프로킷으로부터 궤도가 이탈하게 되어 기동 자체가 불가능해질 수 있다. 한편 궤도 이탈을 방지하기 위해 궤도장력을 증가시키면 궤도와 현수장치 구성부품에 과도한 응력을 발생시켜 손상을 초래할 수 있다. 따라서 궤도의 이탈이나 파손을 방지하고 안정한 주행을 하기 위해서는 적절한 궤도장력을 유지하는 것이 필요하다.

일반적으로 기존의 궤도차량에서는 아이들러에 연결된 수동형 유압 궤도장력조절기에 의해 궤도장력이 조절되는데, 여기에는 보통 차량무게의 10%정도의 초기장력이 주어지며 포장도로, 야지, 피보팅(pivoting)과 같은 모드를 갖게 된다. 예를 들면 포장도로에서는 마찰에 의한 동력 손실을 최소화하기위해 궤도장력을 최소로 하고, 야지에서는 궤도장력을 증가시켜 궤도와 지면사이의 견인력을 높여 준다.⁽¹⁾ 궤도차량의 운전자는 경험에 근거하여 각 상황에 적당한 모드를 결정하게 된다. 그러나 이러한 운전자에 의한 수동적인 모드 결정이 궤도의 이탈이나 파손과 같은 중대한 문제를 야기시킬 수도 있다. 그러므로 위와 같은 한계를 극복하기 위해서 능동형 궤도장력조절기 개발이 이루어지고 있다.

기존의 연구에서 장력조절기에 대한 두 가지 방법을 찾을 수 있었다. 첫 번째 방법은 아이들러와 근접한 로드암을 기계적 장치를 이용하여 연결하여 구성하였다.⁽²⁾ 이는 궤도장력을 고려하지 않고 아이들러의 위치가 로드휠의 위치에 의해서만 결정되어진다. 두 번째 방법은 계산된 궤도길이(track path length)에 근거하여 Oakely et al.⁽³⁾에 의해 개발되어졌으며, 계산된 궤도길이와 적정궤도길이를 비교하여 유압 액추에이터를 이용하여 아이들

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학부
E-mail : khuh2@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2290-0437 FAX : (02)2295-4584

* 국방과학연구소

** 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

*** 한양대학교 전자전기컴퓨터공학과

**** 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과

러의 위치를 제어한다. 그러나 위의 두 방법은 궤도장력 제어를 위해 궤도장력에 대한 정보를 사용하지 않으며 따라서 간접 능동형 장력조절기로 분류되어야 한다.

본 논문에서는 실제로 실제 궤도차량으로부터 측정 가능한 신호들을 사용하여 아이들러와 스프로킷 주위의 궤도장력을 실시간으로 추정하는 궤도장력 감지 시스템과 퍼지논리 제어기를 사용한 제어 시스템을 구성하였으며 동적 궤도장력 조절 시스템을 실차에 적용하기 위한 실험장치를 구성하였다. 이와 같이 구성된 동적 궤도장력 조절 시스템을 실차에 적용해 실시간 궤도장력 추정과 제어성능을 실험적으로 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 궤도장력 제어를 위해 필요한 변수인 궤도장력을 추정하였고, 3장에서는 궤도장력 제어를 담당하는 유압장치를 설명하였고, 4장에서는 퍼지논리를 이용한 궤도장력 제어기를 설계하였으며, 5장에서는 동적 궤도장력 조절 시스템의 실차 실험을 위한 실험장치를 구성하였으며, 6장에서는 5장에서 구성된 실험장치를 이용한 실시간 궤도장력 추정 및 제어 실험결과를 제시하였다. 그리고 마지막 7장에서 결론을 맺었다.

2. 궤도장력의 추정

궤도장력을 직접적으로 제어하기 위해서는 궤도차량의 주행 중에 궤도장력에 대한 정보가 온라인 실시간으로 감지가 가능하여야 한다. 그러나 궤도장력은 센서와 같은 물리적 장치를 사용하여 쉽게 측정되어질 수 없으므로 궤도차량의 동적 거동 데이터만을 사용하여 추정되어야 한다.

궤도장력의 제어는 아이들러에 부착된 능동형 궤도장력 조절기로부터 수행되므로 아이들러 주위의 궤도장력을 제어할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 궤도의 여러 부분 중 아이들러 주위의 궤도장력을 추정하는 방법만을 설명한다.

아이들러는 궤도장력 조절기를 지지하고 있으며 궤도장력을 유지하기 위하여 스프로킷과 로드휠로부터 궤도를 유도한다. 아이들러와 아이들러암 그리고 궤도장력조절기의 기하학적 형상은 Fig. 1에 나타내었다. 궤도장력에 영향을 미치는 요소로는 장력조절기의 압력과 위치, 아이들러와 아이들러암의 동적 성분, 그리고 궤도가 아이들러에 접할 때의 접촉각이다.

그리고 아이들러 관성의 영향은 궤도장력에 비해 아주 작으므로 아이들러 주위의 궤도장력은 일

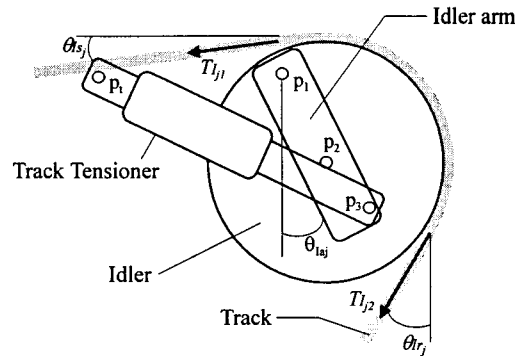


Fig. 1 Geometry of the idler and the track tensioner

정하다고 가정할 수 있다. 아이들러와 아이들러암의 동적모델, 아이들러, 아이들러암과 장력조절기의 기하학적 관계를 토대로 아이들러 주위의 궤도장력은 식 (1)과 같이 계산되어질 수 있다. 식 (1)의 상세 유도는 Huh et al.⁽⁴⁾에서 주어졌다.

$$\hat{T}_{1j1} \approx \hat{T}_{1j2} \approx \frac{Fr_j l_3 \cos(\theta_j + \theta_{aj} + \theta_{rj}) - m_{ia} g l_G \sin \theta_{aj} + F_{cfj} - m_j g \sin \theta_{aj}}{\cos(\theta_{aj} - \theta_{rj}) + \sin(\theta_{aj} + \theta_{rj})} \quad (1)$$

여기서 θ_{sj} 는 아이들러 위쪽에서 궤도의 접촉각이며 θ_{rj} 는 아이들러 아래쪽에서 궤도의 접촉각이다. θ_{ia} 는 아이들러 암 각도이며 θ_j 는 궤도장력 조절기의 각도이다. l_1 은 핀1(p1)과 핀2(p2) 사이의 거리이고, l_3 는 핀1(p1)과 핀3(p3)사이의 거리이며 l_G 는 핀1(p1)과 아이들러 암의 무게중심까지의 거리이다. m_j 는 아이들러의 질량이며 m_{ia} 는 아이들러 암의 질량이다. Fr_j 와 F_{cfj} 는 궤도장력 조절기에서의 액츄에이터 힘과 아이들러 주위를 감싸는 궤도의 원심력을 나타낸다.

θ_{aj} , θ_{sj} 와 θ_{rj} 는 아이들러 어셈블리의 기하학적 관계로부터 계산되어질 수 있고 첨자 j 는 각각 궤도의 오른쪽과 왼쪽을 표시한다. 궤도장력 조절기의 관성항과 아이들러의 관성항은 궤도장력의 변화에 미치는 영향이 일반적인 궤도장력의 크기에 비해 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 위 장력 추정식은 궤도차량의 어떠한 주행조건에서도 사용되어질 수 있다. 왜냐하면 위 식이 노면의 형상이나 궤도차량의 운동저항 등에 대하여 어떠한 가정도 없이 유도되었기 때문이다. 아이들러 주위의 궤도장력은 궤도장력 조절기의 압력과 길이 그리고 로드암 #1의 각도의 측정에 의하여 계산되어진다.

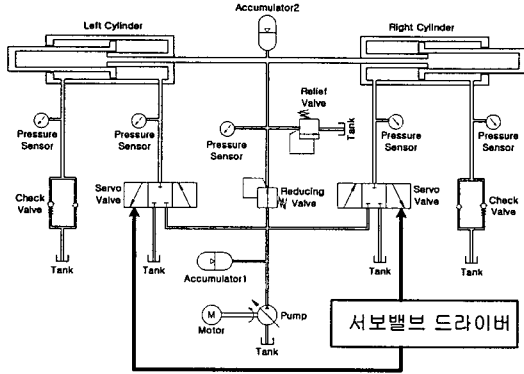


Fig. 2 Hydraulic system

3. 유압장치

동적 궤도장력 조절기에서 유압장치는 궤도장력 조절용 유압실린더에 필요한 유압동력을 제공하며, 서보 밸브를 이용해 장력조절 실린더에 유입되는 유량을 조절하여 실린더의 길이를 제어하는 장치로써 압력보상형 유압펌프, 전기모터, 축압기, 3단 서보 밸브, 솔레노이드 밸브, 릴리프 밸브, 감압 밸브, 저유기, 냉각장치 등의 구성품으로 이루어지며, 시스템의 압력은 실린더가 최대작동길이인 0.1515m에 도달했을 때 궤도의 가능한 최대부하 하중조건을 약 20톤으로 가정하고 유압 서보밸브와 관로 손실등을 고려하여 $280 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 으로 설정되어 있다. Fig. 2는 본 논문에서 사용된 유압장치의 개략도를 나타낸다.

유압장치에 사용된 주유압 펌프는 압력보상형 펌프를 사용하여 유압장치의 설정압력이 $280 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 에 도달하면 내부 사판을 제로유량 상태로 보내 불필요한 에너지가 릴리프 밸브를 통하여 열로 소모되는 것을 방지하도록 설계되어 있다. 또 서보밸브의 개구면적비가 편로드 실린더의 수압면적비와 동일한 4웨이 밸브를 채택하였다. 이 유압장치는 궤도장력 조절시 조절실린더의 팽창시만 유압동력을 이용하고 수축시에는 궤도장력을 이용하는 방식을 사용하였다. 이러한 유압장치는 파워팩 모델, 서보밸브 모델 그리고 실린더 모델의 비선형 운동방정식으로 모델링되며 그 모델식은 제어기 설계를 위해 사용된다.

Power Pack Model

$$\dot{P}_{pump} = \frac{\beta_v}{V_{pump}} (Q_{ih} - Q_{leak} - Q_{acc1} - Q_{red} - Q_{Hin}) \quad (2)$$

여기서 P_{pump} 는 펌프의 압력, V_{pump} 는 펌프의 체적,

β_v 는 오일의 체적 팽창계수이며, Q_{ih} 는 이론적 유량, Q_{leak} 는 손실 유량, Q_{acc} 는 축압기 유량, Q_{red} 는 감압밸브 유량, Q_{Hin} 는 서보 밸브 유량을 의미하며 자세한 특성은 Im⁽⁵⁾에 설명되어 있다.

Servo Valve Model

$$X_v = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \cdot U_n \quad (3)$$

여기서 실린더 헤드와 파워팩에 관련된 유량은 X_v 의 방향과 펌프 압력, 실린더 헤드측 압력에 의해 결정되며 상세한 관계식은 Im⁽⁵⁾에 나와있다.

Cylinder Model

$$M \ddot{x} = P_H \cdot A_H + P_C \cdot A_C - P_R \cdot A_R - F_{ext} - \text{sgn}(\dot{x})F_s - B \cdot \dot{x} \quad (4)$$

여기서 실린더 헤드, 로드 및 챔버의 압력변화는 다음식과 같이 표현된다.

• 실린더 헤드

$$\dot{P}_H = \frac{\beta}{V_H} (Q_H - A_H \cdot \dot{x}) \quad (5)$$

• 실린더 로드

$$\dot{P}_R = \frac{\beta}{V_R} (A_R \cdot \dot{x} - Q_R) \quad (6)$$

• 실린더 챔버

$$\dot{P}_C = \frac{\beta}{V_C} (Q_{red} - Q_{acc} - A_C \cdot \dot{x}_l - A_C \cdot \dot{x}_r) \quad (7)$$

여기서 P_H 는 실린더 헤드측의 압력, P_R 는 실린더 로드측의 압력, P_C 는 실린더 챔버측의 압력, Q_H 는 실린더 헤드측의 유량, Q_R 는 실린더 로드측의 유량, Q_C 는 실린더 챔버측의 유량이며, x 는 장력 조절기의 길이를 나타낸다.

4. 퍼지논리 제어기 설계

궤도차량의 주행시에 궤도장력은 주행조건이나 노면조건 등에 따라서 매우 비선형적으로 변하고 또 궤도장력조절을 담당하는 유압장치도 강한 비선형성을 띠고 있다. 이러한 비선형 시스템을 제어하기 위하여 여러 제어기를 시도하였으며 이 중에서 가장 좋은 성능을 보여주는 퍼지논리 제어기를 사용하였다. 본 논문에서의 퍼지논리 제어기는 퍼지화(fuzzification), 퍼지추론(fuzzy inference), 퍼지제어규칙(fuzzy rule base) 그리고 비퍼지화(defuzzification)로 구성되어 있다.

Fig. 3은 궤도장력을 추정하고 추정된 정보를 이

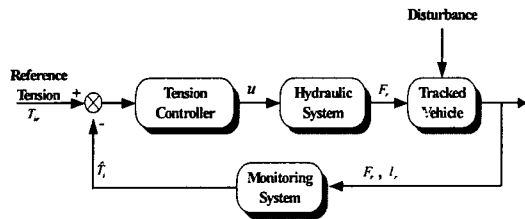


Fig. 3 Block diagram of the DTTS

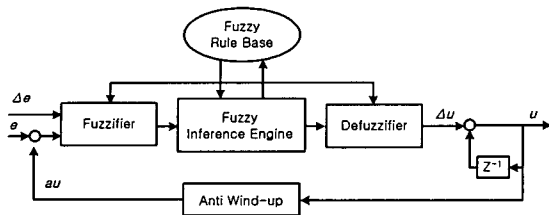


Fig. 4 Fuzzy logic control system

Table 1 The rule base of the FLC

$\Delta e/e$	NB	N	Z	P	PB
NB	NB	Z	Z	PB	Z
N	Z	NB	N	Z	Z
Z	NB	N	Z	P	PB
P	Z	Z	Z	PB	Z
PB	Z	Z	Z	Z	PB

용하여 궤도장력을 제어하는 궤도장력 제어시스템의 블록 선도를 나타낸 것이다. 장력조절기에서 작용하는 힘과 장력조절기의 길이 등을 측정하여 모니터링 시스템에서 아이들러 주위의 궤도장력을 추정하고, 추정된 궤도장력을 토대로 퍼지논리 제어기로 구성된 장력제어기에서 제어 입력이 주어지면 유압장치를 통해 장력조절기의 힘을 작용하여 궤도장력 조절기의 유량을 제어하게 된다.

퍼지논리 제어기에서 입력과 출력인 $e, \Delta e$ 그리고 Δu 는 각각 기준 궤도장력과 현재 궤도장력의 오차, 오차의 변화율 그리고 제어명령의 증분이며 각각 5개의 언어변수를 가진 삼각형의 소속함수(triangular membership function)로 나타내고 정규화한 후 스케일 계수를 적용하여 사용하였다. Fig. 4는 사용된 제어기의 구성을 나타내며, 입력과 출력의 상호 관계는 Table 1과 같은 퍼지제어규칙으로 구성하였다. Fig. 5는 궤도차량으로부터 얻을 수 있는 정보를 이용하여 아이들러 주위의 궤도장력과 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하는 궤도장력 감지시스템과 두 궤도장력 중 최소장력을 판단하여 퍼지 논리 제어기의 입력으로 사용하는 궤도

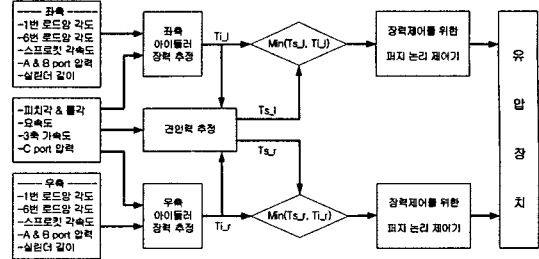


Fig. 5 Track tension estimation and control system

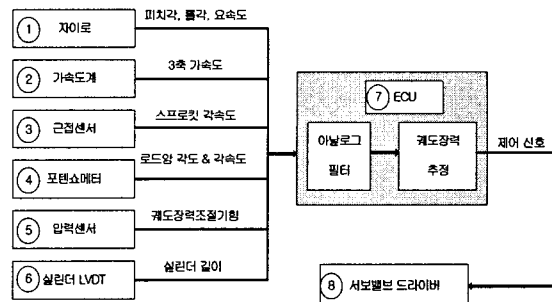


Fig. 6 Experiment configuration of DTTS

장력 조절시스템을 나타낸다.

아이들러 주위의 궤도장력은 장력조절기에서 작용하는 힘, 장력조절기의 길이, 첫번째 로드암각, 아이들러의 회전 각속도를 측정하여 궤도장력 감지 시스템에서 추정되어질 수 있고 피치각, 롤각, 3축의 가속도의 측정으로부터 견인력을 추정할 수 있으며 아이들러 주위의 궤도장력과 견인력으로부터 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정할 수 있다. 추정된 궤도장력과 기준궤도장력의 오차와 오차의 변화율을 퍼지논리 제어기의 입력으로 사용하며 제어기로부터 유압시스템의 서보밸브 제어입력 신호를 출력하여 장력 조절기의 힘으로 작용시켜 아이들러 및 스프로킷 주위의 궤도장력을 제어하게 된다.

본 논문의 제어기에서는 정하중 보상, 최소 장력 제어, 길이제한, 적분 누적방지 등의 제어 알고리즘이 사용되었다. 퍼지추론은 Mamdani의 추론 방식(7)을 사용하였으며, 비퍼지화는 통상적으로 사용되는 무게 중심법을 사용하였다.

본 연구에서 사용되는 퍼지 제어기에서 왼쪽과 오른쪽 각각 4개씩 8개의 스케일 계수를 결정하기 위해 궤도차량의 다물체 동역학 모델(6)과 3장에서 구성된 유압장치 모델(5) 그리고 Matlab Simulink의 퍼지 제어기를 토대로 시뮬레이션에 활용하였다. 그 후 실제 궤도차량에서 실험을 하면서 노이즈(noise)문제를 고려하여 퍼지 제어기의 스케일 계수가 조정되었다.

5. 실험장치 구성

동적 궤도장력 조절 시스템의 실험장치는 Fig. 5와 같이 구성된다. 아이들러 주위의 장력은 궤도장력조절기의 힘, 궤도장력조절기의 길이, 아이들러의 회전 속도 그리고 첫번째 로드암의 각도에 의해서 실시간으로 구해지고 스프로킷의 궤도장력은 측정 변수인 직진방향·횡방향 속도, 직진방향·횡방향 가속도, 양쪽 스프로킷의 회전속도 그리고 피치각·롤각·요속도에 의해서 추정된다.

측정변수는 Fig. 6과 같이 ①부터 ⑥의 센서를 이용하여 측정하였으며 측정된 값은 추정 및 제어 시스템이 다운로드 되어있는 전자제어장치(ECU)⑦의 입력이 되어 실시간으로 아이들러 주위와 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하고 제어명령을 전기 신호로 출력한다. 제어명령은 서보밸브 드라이브⑧로 입력되어 궤도장력 조절기의 유량을 제어하게 된다.

Fig. 7의 ECU는 서보밸브 드라이버로 전기적인 신호를 보내어 장력 조절실린더를 제어하는 장치이며 TI사의 167MHz TMS320C6701을 사용한 DSP(Digital Signal Processing) 보드③, I/O(input/output) 보드④, 전원보드 ② 그리고 사시 ①로 구성되어 있다. DSP 보드는 궤도장력 추정 및 제어 알고리즘이 실행되며 제어명령을 출력시켜주며, I/O 보드는 계측시스템으로부터 입력되는 센서값을 DSP 보드에 전달해주며 DSP 보드에서 출력된 제어명령을 서보밸브 드라이버에 전송해주는 장치이다. 그리고 전원보드는 DSP 보드에 전원을 공급해주는 장치이다.

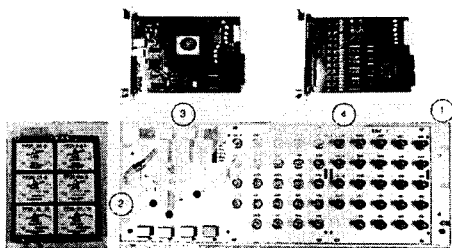


Fig. 7 ECU of the DTTS System

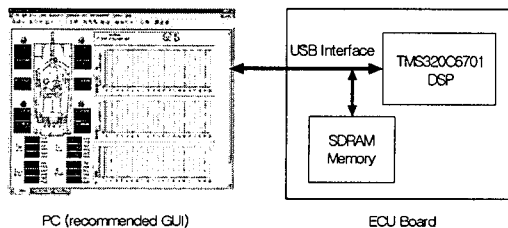


Fig. 8 Monitoring Application

모니터링 어플리케이션은 노트북 컴퓨터에서 실행되어지며 각각의 파라미터에 대한 다양한 방식의 모니터링과 필요한 데이터의 저장 그리고 실시간 온라인 파라미터 업데이트를 수행한다. 이와 같은 기능을 수행하기 위하여 Fig. 8과 같이 노트북 컴퓨터와 ECU는 USB 인터페이스를 통하여 정보를 주고 받을 수 있도록 구성하였다.

6. 실험결과

앞 장에서 구성한 실험장치를 실차에 적용하여 실시간으로 궤도장력을 추정하고 제어하였으며 모니터링 어플리케이션을 사용해 저장된 결과를 나타내었다. 주행시험은 평면노면, 종경사면(Fig. 9), 횡경사면(Fig. 10)에서 수행되었으며 수행결과는 다음과 같다.

(a) 급가속 급감속 주행

평면 노면에서 정지상태에서 40 km/h의 속도까지 급가속후 10초동안 0 km/h의 속도로 급감속할 때 궤도장력이 제어되는 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

(b) 종경사면 하향 주행

종경사면 주행에 사용된 경사면은 -30%(16.7°)이며 Fig. 9는 -10%의 경사면을 보여주고 있다. 경사면 주행실험에서 좌측 궤도장력이 제어되는 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

(c) 횡경사면 주행

종경사면 주행에 사용된 노면은 Fig. 10과 같이 20%(11.3°), 30%(16.7°)의 경사각을 가지는 횡경사면으로 구성되어 있다. 이 때 궤도장력이 제어되는 결과를 좌측 및 우측 각각에 대해 Fig. 13 및 Fig. 14에 나타내었다.

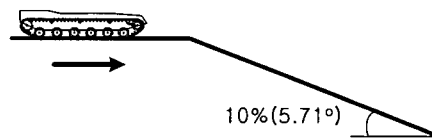


Fig. 9 Longitudinal sloping road with -10% slant

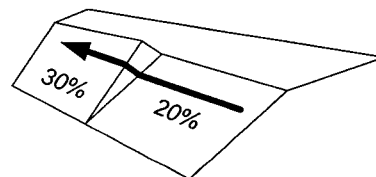


Fig. 10 Lateral slope with 20% & 30% slant

(d) 피보팅

피보팅은 좌우 스프로킷을 반대방향으로 회전 하면서 차량이 제자리에서 회전하는 것을 말한다. 본 실험에서는 양쪽 스프로킷이 5km/h의 일정한 속도로 회전할 때 좌·우측 궤도장력이 제어되는 결과를 Fig. 15와 Fig. 16에 각각 나타내었다.

각 실험에서 기준 궤도장력은 4톤(39226.6 [N])이며 추정된 아이들러와 스프로킷 주위의 궤도장력을 비교하여 낮은 값을 제어하였다. 결과를 살펴보면 제어 대상인 낮은 장력이 원하는 기준장력을 잘 유지함을 볼 수 있었다.

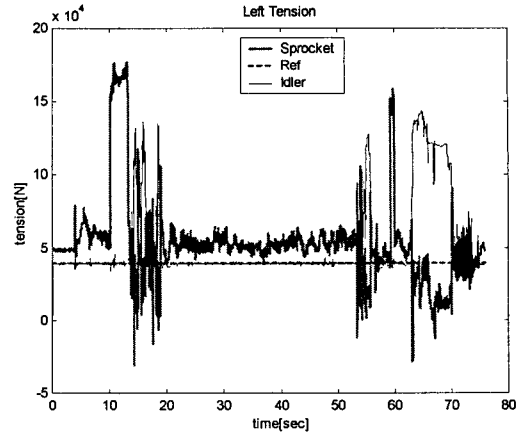


Fig. 13 Left tension for driving on lateral slope

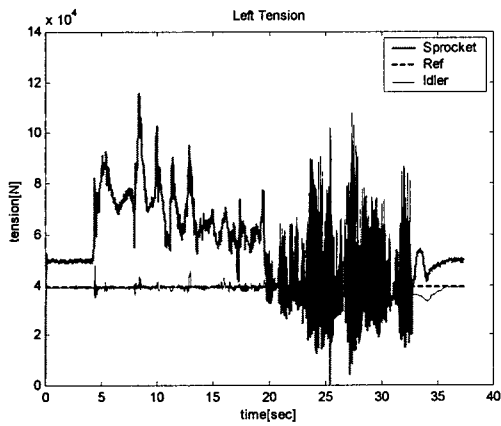


Fig. 11 Left tension for forward driving

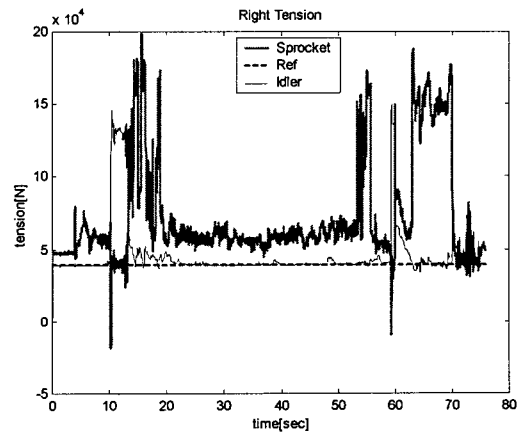


Fig. 14 Right tension for driving on lateral slope

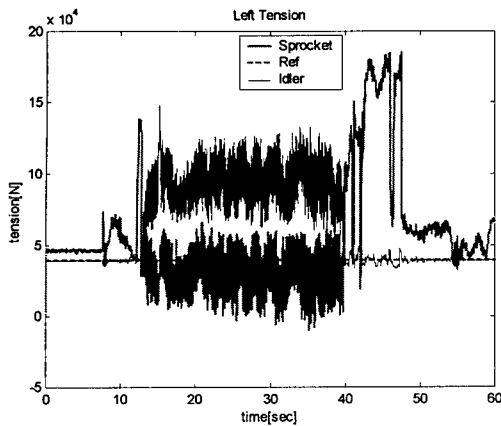


Fig. 12 Left tension for driving on -30% longitudinal slope

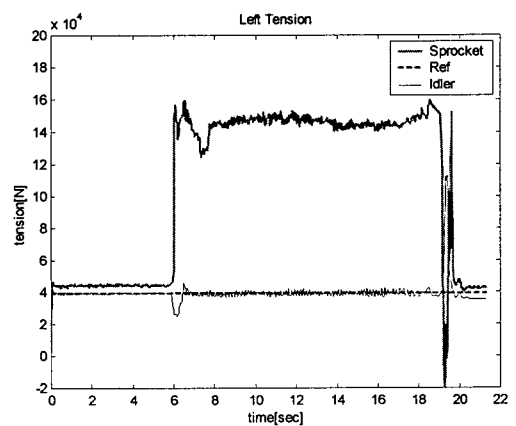


Fig. 15 Left tension for pivoting right

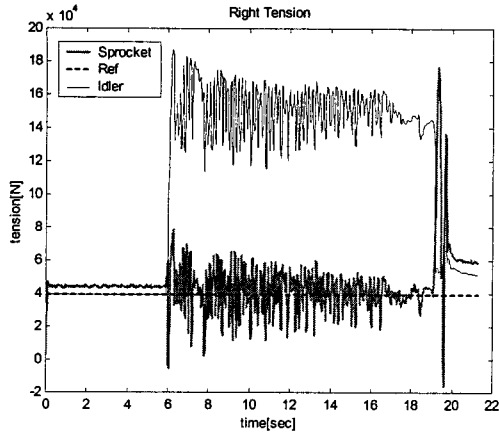


Fig. 16 Right tension for pivoting right

7. 결론

궤도차량에 가속도계, 자이로, 근접센서, 압력센서, LVDT, 유압공급장치, 전자제어장치 등을 설치하여 궤도장력 조절 시스템을 구성하였으며 실시간으로 궤도차량의 아이들러와 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하고 제어하는 실험을 통해 동적 궤도장력 조절시스템의 성능을 검증하였다.

본 논문에서 개발된 이러한 동적 궤도장력 조절시스템은 궤도차량의 다양한 주행에 사용될 수 있었으며, 여러 구동조건에서 실험한 결과 원하는 장력 값을 잘 추종함을 확인할 수 있었다. 즉, 주행시 필요한 최소의 장력을 유지해줌으로써 궤도의 이탈이나 파손을 방지할 수 있다. 본 연구에서 개발된 동적 궤도장력 조절 시스템을 이용하여 궤도장력을 제어해 줌으로써 차세대 궤도차량의 성능 확보를 이룰 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Baladi, G. Y. and Rohani, B., 1979, "A Terrain-Vehicle Interaction Model for Analysis of Steering Performance of Track-Laying Vehicles," *Technical Report GL-79-6*, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- (2) Garnich, M. R. and Grimm, T. R., 1984, "Modeling and Simulation of a Tracked Vehicle," *International Computers in Engineering Conference*, Vol. 2, pp. 591~600.
- (3) Oakley, R., Quinn, D. and Jones, R. D., 1994, "Track Tensioning Programme for Tacom on the Active Suspension Scorpion (P3) Tank," *NTIS Report #ADA282723*.
- (4) Huh, K., Cho, B., Suh, M., Seo, I., Park, D., 2000. "Track Tension Monitoring in the Longitudinal Traveling of Tracked Vehicles," *Transaction of the KSME A*, Vol. 24, No. 6, pp. 1608~1615.
- (5) Im, H., 2002, "Hydraulic System Modeling and Simulation Tool Development for the Design of Track Tension Controller in Tracked Vehicle," M. S. Thesis, Hanyang University, Seoul, pp. 14~25.
- (6) Ryu, H. S., Bae, D. S., Choi, J. H. and Shabana, A., 2000, "A Compliant Track Link Model for High-Speed, High-Mobility Tracked Vehicles," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 48, No. 10, pp. 1481~1502.
- (7) Jang, J.-S. R., Sun, C.-T. and Mizutani, E., 1997, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall.